Aus dem Physiologischen Institut der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. K. Brecht
und
dem Physiologischen Institut der Medizinischen Hochschule Hannover
Abteilung Bartels

Untersuchungen an Igeln während Hypothermie und Hibernation unter besonderer Berücksichtigung der Atmungsfunktion des Blutes

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
RAINER SCHMELZLE
aus Ludwigsburg

1968

Aus dem Physiologischen Institut der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. K. Brecht
und
dem Physiologischen Institut der Medizinischen Hochschule Hannover
Abteilung Bartels

Untersuchungen an Igeln während Hypothermie und Hibernation unter besonderer Berücksichtigung der Atmungsfunktion des Blutes

INAUGURAL - DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin
einer hohen Medizinischen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von

RAINER SCHMELZLE
aus Ludwigsburg

1968

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Dekan : Professor Dr.med.W.Graumann

1. Berichterstatter : Professor Dr.med.H.Bartels
2. Berichterstatter : Professor Dr.med.K.Brecht

Meinen lieben Eltern gewidmet

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Einleitung	1
Methodik	2
Ergebnisse und Diskussion	4
Zusammenfassung	8
Tabellen	
Abbildungen	
Literaturverzeichnis	

EINLEITUNG

Die Amtungsfunktion des Blutes nicht winterschlafender Igel wurde von SCHMELZLE (1966) untersucht. Die Atmungsfunktion des winterschlafenden Igels interessierte deshalb, weil untersucht werden sollte, ob außer der physikalisch-chemischen Änderung der O_2-Affinität, bedingt durch die Senkung der Körpertemperatur, auch eine Adaption der Sauerstoffaffinität stattfindet, wie dies Frösche bei niederen Körpertemperaturen zeigten (KRÜGER, 1961; GAHLENBECK und BARTELS, 1968).

METHODIK

Versuchstiere. 6 erwachsene Igel der Gattung Erinaceus europaeus L wurden von einem Tierhändler im Sommer bezogen. Die Tiere wogen im Mittel 7o5 g. Sie wurden bis zum Winterschlaf im Garten gehalten.

Blutentnahme. Das Blut wurde durch Herzpunktion gewonnen.

Blutkonservierung. Das Blut wurde in einer 2o ml Rekord-Spritze aufbewahrt, in der zur Hemmung der Glykolyse Natrium-Fluorid (pro ml Blut o,ol ml einer lo%iger NaF-Lösung mit einem pH-Wert von 7,4 angetrocknet war. Mit Spuren flüssigen und pulverisierten Heparins wurde die Blutgerinnung verhindert. Die Kanüle der Spritze wurde nach der Blutentnahme mit einem Gummistopfen verschlossen und die Spritze in Eiswasser aufbewahrt. Innerhalb von 6 Stunden wurde das bei 39° C äquilibrierte Blut analysiert. Analysen von Blut bei niedrigeren Äquilibriertemperaturen erfolgten innerhalb von 12 Stunden nach der Blutentnahme.

Äquilibrierung. Das Blut wurde in einem von ULRICH, HILPERT und BARTELS (1963) modifizierten Kugeltonometer nach LAUE (1951) mit den entsprechenden Gasgemischen bei 39° C äquilibriert. Bei 5 der 6 winterschlafenden Igel wurde Blut auch bei tieferen, den Körpertemperaturen etwa entsprechenden Temperaturen äquilibriert.

Gas-Analyse. Die O_2- und CO_2-Gehalte des Blutes wurden bei 4 winterschlafenden Igeln im manometrischen Apparat nach van Slyke bestimmt. Bei zwei winterschlafenden Igeln wurden die Analysen mit dem mikromanometrischen Apparat nach van SLYKE und PLAZIN (1961) durchgeführt.

Berechnungen. Der O_2- und CO_2-Druck des Äquilibriergases wurde aus dem prozentualen Anteil des Gases im Gasgemisch (Analyse im o,5 ml Scholander-Gasanalyseapparat) mit dem herrschenden Barometerstand nach Abzug des bei den Äquilibriertemperaturen bestehenden Wasserdampfdruckes bestimmt. Die O_2-Kapazität wurde nach Äquilibrieren des Blutes mit ca. 2oo Torr O_2-Druck bestimmt. Die pH-Werte wurden mit der Henderson-Hasselbalch-Gleichung berechnet. Bei 4 winterschlafenden Igeln wurde der pH-Wert zusätzlich elektrometrisch gemessen. Die elektrometrisch gemessenen pH-Werte la-

gen bei den winterschlafenden Igeln um durchschnittlich o,o34 höher als die berechneten pH-Werte. Es besteht die Möglichkeit, daß für Blut winterschlafender Tiere, das bei 39° C analysiert wird, die von SEVERINGHAUS, STUPFEL und BRADLEY (1956) bestimmten pK'-Werte zu niedrig sind.

Bestimmung des Bohr-Effektes. Meßwerte im Bereich von 5o% S_{O2} wurden im logarithmischen System parallel zu einem Abschnitt einer vorläufigen O_2-DK auf P_{50} projiziert und das Verhältnis der Druckdifferenzen zu den pH-Differenzen verschiedener Meßwertpaare gebildet. Der Mittelwert dieser Quotienten lieferte dann den Bohr-Effekt. Da wir für winterschlafende Igel aus 8 Wertpaaren einen Bohr-Faktor von $\Delta \log P_{O2} / \Delta pH = -o,45$ ($sX = \pm o,o4$) fanden, verwendeten wir für die Umrechnung der bei den entsprechenden O_2-Sättigungen herrschenden O_2-Drucke auf den gemeinsamen pH-Wert von 7,4 den von DILL, GRAYBIEL, HURTADO und TAQUINI (194o) angegebenen Faktor von $\Delta \log P_{O2} / \Delta pH = -o,48$. Die O_2-Dissoziationskurven (O_2-DK) bestimmten wir graphisch nach BARTELS und HARMS (1959).

Bestimmung des Temperaturfaktors. Mit Hilfe der O_2-DK bei 39° C und insgesamt 8 bei 15°C, 6°C, 5°C und 4,5°C äquilibrierten Kurvenpunkten wurde der Temperaturfaktor aus der Differenz der Halbsättigungsdrucke und der Temperatur errechnet.

Erythrozytenmorphologie. Die Zahl der Erythrozyten wurde aus einer Doppelbestimmung mit geeichten Pipetten und der Neubauer-Zählkammer bestimmt. Der Hämatokrit-Wert wurde mit einer Hawksley-Mikrohämatokrit-Zentrifuge ermittelt. Das mittlere Erythrozyten-Volumen wurde aus dem Quotienten Hämatokrit % / Ery Mio/µl errechnet.

Hämoglobinbestimmungen. Das aktive Hb errechneten wir aus dem Quotienten O_2-Kapazität/Hüfnersche Zahl (1,34). Bei 4 winterschlafenden Igeln bestimmten wir Hb zusätzlich photometrisch. Die mittlere erythrozytäre Hb-Konzentration wurde aus Hb g %/Hämatokrit, der mittlere Hb-Gehalt aus Hb g %/Ery Mio/µl berechnet.

Bestimmung der Herzfrequenzen, Atemfrequenzen und Körpertemperaturen. Herzfrequenz und Atemfrequenz von 2 winterschlafenden Igeln wurden palpatorisch bestimmt, bei 4 weiteren winterschlafenden Tieren mit Hilfe eines Röntgenschirmes gezählt. Die Körpertemperaturen wurden

mit Quecksilberthermometern rektal gemessen.

Standard Bicarbonatbestimmung. Der Standard-Bicarbonat-Gehalt des Blutes von winterschlafenden Igeln wurde aus O_2-Kapazität (mMol/L) und CO_2-Gehalt des Plasmas (mMol/L), nach Abzug des physikalisch gelösten CO_2-Gehaltes, mit dem von HENDERSON (1932) aufgestellten Nomogramm für Kohlensäurebindungskurven im Blut bestimmt.

ERGEBNISSE UND DISKUSSION

Der bekannte Gewichtsverlust (ca. 25%) während des Winterschlafes (HERTER, 1938) wurde auch bei unseren Versuchen beobachtet (Tab. 1). 6 Igel, die im August im Mittel 7o5 g wogen, hatten winterschlafend im Januar ein mittleres Gewicht von 533 g, was einen Gewichtsverlust von 24% bedeutet.

Die Herzfrequenz wird bei nicht winterschlafenden Igeln bei einer Körpertemperatur von 36° C mit 234 - 264/min. und bei winterschlafenden Igeln bei einer Körpertemperatur von 6,2 - 7,7° C mit 18 - 24/min. angegeben (Biology Data Book, 1964). Wir fanden ähnliche Werte (Tab. 2). Bei einer durchschnittlichen Körpertemperatur von 32° C (19,5 - 39,o° C) fanden wir eine Herzfrequenz von durchschnittlich 16o/min. (7o - 24o/min.). Die Atemfrequenz betrug durchschnittlich 55/min. (2o - 84/min.). Bei winterschlafenden Igeln fanden wir eine durchschnittliche Herzfrequenz von 3/min. (2 - 6/min.), wobei die Körpertemperatur durchschnittlich 5,5° C (1,o - 15,8 ° C) und die Atemfrequenz durchschnittlich 2/min. (1 - 3/min.) betrug. Unsere Werte winterschlafender Igel liegen niedriger,als von SARAJAS (1954) und SCHENK (1922) mitgeteilt. Allerdings weiß man (LYMAN, 1958), daß beim beginnenden Winterschlaf Herzfrqeuenz und Atemfrequenz kleiner sind als beim Aufwachen, auch bei gleichen Körpertemperaturen.

Auf Änderungen der Außentemperaturen reagieren Igel nicht wie poikilotherme Tiere (HERTER, 1938). Dies konnten wir mit Hypothermieversuchen während des Sommers und Beobachtungen während des Winterschlafes bestätigen (Tab. 3 u. 4). Nicht winterschlafende Igel, die in einen Kühlraum von +4° C gebracht wurden, konnten ihre Körpertemperatur um bis zu 27° C (von 35,2 auf 8,o° C) senken, aber auch konstant halten beziehungsweise wieder ansteigen lassen. Auch im Winterschla

beobachteten wir Igel, deren Körpertemperaturen kaum Beziehung zu den jeweils herrschenden Außentemperaturen aufwiesen. Allerdings schwankten die Außentemperaturen erheblich und lagen in den Tagen vor unseren Untersuchungen oft wesentlich tiefer (-6 bis -2o° C). Bei einer Umgebungstemperatur von +3,5° C lagen bei 2 Tieren die Körpertemperaturen bei 3,5° C beziehungsweise 15,8° C. Bei Umgebungstemperaturen von -6° C bzw. - 8,2° C massen wir bei 2 Tieren Körpertemperaturen von 1,o° C bzw. 6,5° C.

Die O_2-Dissoziationskurven mit den Einzelmeßwerten, aus denen sie gewonnen wurden, sind in Abb. 1 dargestellt. Die wichtigsten Meßwerte, auf denen die Kurven beruhen, sind in den Tab. 5 u. 6 zusammengestellt. In Tab. 7 sind die Werte in Mittelwerts-O_2-Dissoziationskurven bei 39, 37, 15, 5 und 1° C zusammengefaßt. Man sieht, daß die bei 39° C ermittelte Kurve des Blutes winterschlafender Tiere beim Halbsättigungsdruck um 15 Torr nach links verschoben ist. Der atypische Verlauf der Kurve des Blutes winterschlafender Igel im Bereich von O_2-Sättigungen über 7o% kann wegen der zu geringen Anzahl von Analysen nicht gesichert werden.

Der O_2-Halbsättigungsdruck (P_{50}) (Tab. 8) des Blutes winterschlafender Igel beträgt, bezogen auf 37° C und pH_b 7.4, 23 Torr. SCHMELZLE (1966) fand für das Blut nicht winterschlafender Igel einen P_{50}-Wert von 37 mm Hg, bezogen auf 37° C und pH_b 7.4.

Nach Abschluß unserer Experimente wurden uns die Ergebnisse von CLAUSEN und ERSLAND (1968) bekannt. Die Autoren fanden einen O_2-Halbsättigungsdruck von im Mittel 34 Torr bei 38° C Untersuchungstemperatur und einem pH_b-Wert von etwa 7.4. Die Autoren betrachten ihre Igel als winterschlafende Tiere, und es ergäbe sich demnach eine erstaunliche Diskrepanz zwischen unseren und ihren Ergebnissen beim winterschlafenden Igel. Eine Erklärung scheint uns zu sein, daß nach unseren Erfahrungen Igel bei einer konstanten Außentemperatur von +3° C nur unvollkommen in den Winterschlaf gelangen. Demgegenüber betrachteten wir nur solche Tiere als winterschlafend, die eine ausgeprägte Starre zeigten, über mehrere Tage keine Nahrung mehr aufnahmen und sich Tage bis Wochen in durchschnittlichen Außentemperaturen aufhielten, die unter dem Gefrierpunkt lagen. Diese Unterschiede der Untersuchungsbedingungen erklären mit Einschränkung den großen Affinitätsunterschied.

Wir wissen nichts über den Modus der O_2-DK-Verlagerung von rechts (nicht winterschlafend) nach links (winterschlafend). Deshalb können wir auch nicht sagen, ob die von CLAUSEN und ERSLAND (1968) publizierte O_2-DK des winterschlafenden Igels eine unter bestimmten Versuchsbedingungen eventuell geltende Kurve ist.

Über die biologische Bedeutung der von uns gefundenen Affinitätsänderung kann gesagt werden, daß die O_2-Bindungskurve des Igelblutes im wahren Winterschlaf noch weiter links verschoben ist, als durch den Temperatur-Koeffizienten gegeben ist. Damit wird die O_2-Versorgungsmöglichkeit der Gewebe noch verringert. Allerdings ist der Unterschied des O_2-Halbsättigungsdruckes für beide Blutarten (an Kälte adaptiert und nicht adaptiert) bei 1° C (tiefste Körpertemperatur des winterschlafenden Igels) nur noch ca. 3-4 mm Hg. Der Stoffwechsel ist bei Annahme eines Q_{10}-Wertes von 2,5 bei 1° C gegenüber 39° C (höchste bei Igeln während des Sommers gemessene Körpertemperatur) fast nur noch 2,5% des Ausgangswertes. Bei winterschlafenden Igeln mit einer Körpertemperatur von 5° C beträgt der O_2-Verbrauch o,23 ml kg^{-1} $min.^{-1}$, was ziemlich genau 2,5% des Sauerstoffverbrauchs im Sommer wären, wenn man annimmt, daß dieser lo ml kg^{-1} $min.^{-1}$ beträgt (diesen Wert haben z.B. gleichgewichtige Meerschweinchen).

Nach Angaben von RAHN (1967) betragen aktuelle pH-Werte im Blut poikilothermer Tiere bei 5° C 8,o - 8,1. Wenn dies auch für winterschlafend Igel zutrifft, würde eine weitere Linksverschiebung der O_2-DK von ca. 4,5 mm Hg auftreten, was in vivo eine O_2-Abgabe an die Gewebe noch mehr verschlechtert.

Die Sauerstoffkapazität (Tab. 8) des nicht winterschlafenden Igels lie mit 19,o ml O_2/loo ml Blut im oberen Bereich der bei Säugetieren gefun denen Werte (SCHMELZLE, 1966). Während des Winterschlafs ist die Sauer stoffkapazität mit 14,4 ml O_2/loo ml Blut signifikant niedriger, BIÖRC JOHANSSON und VEIGE (1956) fanden eine ähnliche Abnahme des Hämoglobi um 23%.

Der Temperaturfaktor (Tab. 8) des Blutes winterschlafender Igel war b unseren Untersuchungen o,o167 ($\Delta \log P_{O2} / \Delta\,^{\circ}C$). CLAUSEN und ERSLAND (1968) fanden Temperaturkoeffizienten, die abhängig von der Körpertemperatur zwischen o,o161 (bei 38 - 15° C) und o,o176 (bei lo - 5° C) la gen. Damit liegen unsere und die von CLAUSEN und ERSLAND gefundenen We

nur wenig unter dem von DILL und FORBES (1941) für menschliches Blut angegebenen Wert von o,o19. Bei Verwendung dieses Faktors zur Umrechnung unserer O_2-DK von 39 auf 1° C liegt diese nur um ca. 1 Torr weiter links als die mit unserem Faktor berechnete.

Der Bohr-Faktor (Tab. 8) des winterschlafenden Igels wird von CLAUSEN und ERSLAND (1968) mit - o,62 bei 38° C und - o,38 bei 1o und 5° C angegeben. Wir fanden einen Bohr-Faktor bei winterschlafenden Igeln von - o,45 bei 39° C. Dieser Wert stimmt mit dem Wert für menschliches Blut (DILL et al., 194o) fast überein. Bei Verwendung des von CLAUSEN und ERSLAND angegebenen Faktors für winterschlafende Igel verschiebt sich die O_2-DK des Blutes unserer winterschlafenden Igel, bezogen auf pH_b 7,4 und 39° C, nur um ca. 1 Torr nach links und, bezogen auf 5° C und pH_b 7,4 um ca. o,5 Torr nach rechts.

Die Standard-Bicarbonat-Werte (Tab. 8) des winterschlafenden Igels lagen im Mittel bei 35,8 ml CO_2/1oo ml Blut.

Die Zahl der Erythrozyten (Tab. 9) lag bei 6 winterschlafenden Igeln (7,7 Mio/µl) um 1o% niedriger als bei 5 von SCHMELZLE (1966) untersuchten, nicht winterschlafenden Igeln (8,59 Mio/µl). BIÖRCK et al. (1956) fanden beim nicht winterschlafenden Igel 8,96 Mio/µl und beim winterschlafenden Igel 7,43 Mio/µl, d.h. eine Abnahme von 17% im Winterschlaf.

Der Hämatokrit-Wert (Tab. 9) des winterschlafenden Igels (bei 6 Tieren im Mittel 33,2%) lag um 29% tiefer als der Hämatokrit-Wert des nicht winterschlafenden Igels (bei 5 Tieren 47%, SCHMELZLE, 1966). BIÖRCK et al. (1956) fanden bei nicht winterschlafenden Igeln einen Hämatokrit-Wert von 45%, der sich beim winterschlafenden Igel (32 - 37%) um im Mittel 23% erniedrigt.

Das Erythrozyten-Einzelvolumen (Tab. 9) des nicht winterschlafenden Igels gab SCHMELZLE (1966) bei 5 Tieren mit 54,9 μ^3 an. Für winterschlafende Igel fanden wir bei 6 Tieren 43,1 μ^3; es hat also um 21% abgenommen. Da man das mittlere Erythrozyten-Einzelvolumen mit Hilfe des Quotienten Hämatokrit %/Erythrozyten Mio/µl bestimmt, läßt sich aus den von BIÖRCK et al. (1956) gefundenen Werten errechnen, daß auch diese Autoren während des Winterschlafes der Igel eine Volumenverringerung der Erythrozyten fanden.

Die mittlere erythrozytäre Hämoglobin-Konzentration (Tab. 9) bei Igeln unterscheidet sich im Winterschlaf mit 32,2% nicht signifikant von dem Wert im Sommer.

Der mittlere Hämoglobin-Gehalt (Tab. 9) der Igel-Erythrozyten lag während des Winterschlafes (14,o µµg bei 6 Tieren) tiefer als der während des Sommers von SCHMELZLE (1966) bei 5 Tieren angegebene Wert von 18,1 µµg.

ZUSAMMENFASSUNG

Für Blut winterschlafender Igel (Körpergewicht im Mittel 533 g) fanden wir einen O_2-Halbsättigungsdruck (P_{50}) von 23 mm Hg bei 37° C und pH_b 7,4. Die O_2-Kapazität des Blutes betrug während des Winterschlafes 14,4 ml O_2/100 ml Blut. Der Temperaturfaktor $\Delta \log P_{O2} / \Delta$° C betrug - o,o167 und der Bohr-Faktor $\Delta \log P_{O2} / \Delta$ pH - o,45. Die Zahl der Erythrozyten betrug 7,7 Mio/ml und der Hämatokritwert 33,2%. Das Erythrozyten-Einzelvolumen wurde mit 13,1 μ^3 errechnet, die mittlere Hb-Konzentration betrug 32,2% und der mittlere Hb-Gehalt 14,o µµg. Die Sauerstoffaffinität des Igelblutes zeigt beim winterschlafenden Tier eine Zunahme, die über die physikalisch-chemische temperaturbedingte Affinitätsabnahme bei Temperaturerniedrigung hinausgeht.

TABELLE Nr.1

Gewichte von 6 Igeln im August (nicht winterschlafend),im Januar (winterschlafend).

n	IGEL winterschlafend	nicht winterschlafend
1	700 g	930 g
2	650 g	840 g
3	490 g	630 g
4	480 g	650 g
5	540 g	730 g
6	340 g	450 g

TABELLE Nr. 2

Herzfrequenz(Hzf),Atmungsfrequenz(Af) und Körpertemperatur(T) von 6 Igeln,nicht winterschlafend(August) und winterschlafend (Januar).

nicht winterschlafend				winterschlafend			
Nr.	Hzf/min	Af/min	T°C	Nr.	Hzf/min	Af/min	T°C
1	220.0	72.0	32.0°C	1	6.0	3.0	I5.8°C
2	244.0	48.0	34.0°C	2	2.0	1.5	6.5°C
3	70.0	20.0	19.5°C	3	2.0	2.0	3.5°C
4	80.0	28.0	32.0°C	4	3.0	3.0	4.5°C
5	240.0	84.0	39.0°C	5	2.0	1.0	1.8°C
6	108.0	78.0	35.5°C	6	4.0	2.0	1.0°C

TABELLE Nr. 3

Ergebnisse von Hypothermieversuchen an 3 nicht winterschlafenden Igeln, die sich über 33 Stunden in einem Kühlraum von + 4°C aufhielten.

(T_1) : Körpertemperatur nach 3 Stunden Aufenthalt
(T_2) : Körpertemperatur nach 27 Stunden Aufenthalt
(T_3) : Körpertemperatur nach 33 Stunden Aufenthalt
(T_0) : Körpertemperatur bei Beginn der Versuche

Igel Nr.	T_0	T_1	T_2	T_3
1	36.1	34.1	33.5	32.0
2	35.5	35.2	8.0	8.0
3	36.1	34.8	10.0	29.5

TABELLE Nr. 4

Körpertemperaturen von 6 winterschlafenden Igeln und die zugehörigen Außentemperaturen+ 3 Tage vor und während der Analysen.

(T_1) : Durchschnittstemperaturen 3 Tage vor der Analyse
(T_2) : Außentemperatur während der Blut-Analyse
(T_3) : Körpertemperatur während der Blut-Analyse

Igel Nr.	T_1	T_2	T_3
1	--	+ 3.5	15.8
2	- 2.5	- 8.2	6.5
3	- 4.3	- 1.1	4.0
4	-11.1	+ 3.5	3.5
5	- 6.0	- 6.0	1.0

+ Der Wetterwarte Tübingen danken wir für die Angaben der Temperaturen.

TABELLE Nr. 5

Igel: Analysierte und berechnete Daten des Blutes von 6 winterschlafenden Igeln. Äquilibriertemperatur 39°C.

Es bedeuten:

P_{O_2} und P_{CO_2} : Äquilibriergasdrucke in Torr für O_2 und CO_2 im Kugeltonometer

C_{O_2} und C_{CO_2} : Gehalt des Blutes an chemisch gebundenem und physikalisch gelöstem O_2 bzw. CO_2 in ml Gas/100 ml Blut

S_{O_2} : Prozentuale O_2-Sättigung des äquilibrierten Blutes

$C_{CO_{2s}}$: Berechneter CO_2-Gehalt im Serum des äquilibrierten Blutes

P_{O_2} corr : Bei der gefundenen O_2-Sättigung auf pH 7.4 umgerechneter O_2-Druck des Blutes

Nr.:	P_{O_2}	P_{CO_2}	C_{O_2}	C_{CO_2}	S_{O_2}	$C_{CO_{2s}}$	pH_s	P_{O_2} corr
1	201.66	46.85	14.14	27.58	100.00			
	65.52	38.36	12.14	30.37	88.37	34.77	7.2017	52.63
	32.73	44.54	6.45	26.59	47.60	30.02	7.0609	22.50
	26.82	44.34	2.67	30.64	19.18	34.41	7.1291	19.86
2	205.77	47.81	14.86	39.01	100.00			
	66.86	39.14	11.89	38.25	79.30	43.85	7.2919	59.40
	52.45	43.93	10.28	42.09	71.17	47.77	7.2770	45.78
	33.39	45.45	9.43	43.15	65.61	48.85	7.2720	28.99
	30.90	55.15	4.64	46.27	31.93	51.68	7.2079	24.99
	27.37	45.24	3.74	43.57	25.74	48.80	7.2732	23.79
3	267.83	49.32	10.81	41.05	100.00			
	33.02	44.94	5.62	37.41	55.31	40.80	7.1986	26.43
	27.06	44.73	2.13	44.42	20.54	48.06	7.2767	23.62
4	265.90	48.98	17.18	23.35	100.00			
	32.76	44.60	6.30	24.18	38.90	28.20	7.0309	21.79
	26.85	44.40	2.42	24.30	14.30	28.10	7.0304	17.84

TABELLE Nr. 5 (Fortsetzung)

Nr.:	P_{O_2}	P_{CO_2}	C_{O_2}	C_{CO_2}	S_{O_2}	$C_{CO_{2s}}$	pH_s	P_{O_2} corr
5	236.40	41.55	14.74	43.45	100.00			
	46.81	41.49	10.10	49.34	70.90	56.65	7.222	38.54
	31.71	44.79	7.58	52.35	53.40	58.68	7.236	26.41
	29.70	43.40	5.82	47.61	40.70	53.65	7.208	24.04
	25.89	44.21	5.21	51.35	36.60	57.70	7.230	21.41
6	248.60	41.91	19.08	41.92	100.00			
	47.25	41.85	12.45	45.40	67.68	54.20	7.2026	38.0
	32.05	45.02	7.34	49.40	39.81	57.99	7.2030	25.7
	32.02	45.02	7.25	48.71	39.30	57.61	7.2049	25.8
	29.98	43.75	6.62	45.04	35.90	52.85	7.1685	23.2
	26.11	44.65	5.85	47.98	31.70	56.90	7.1949	20.8

TABELLE Nr. 6

Analysierte und berechnete Daten des Blutes von 5 winterschlafenden Igeln bei 15°C , 6°C , 5°C , 4.5°C ,wobei die genannten Nummern die entsprechenden Tiere der Tabelle 1 bedeuten.

Nr.:	P_{O_2}	P_{CO_2}	C_{O_2}	C_{CO_2}	S_{O_2}	$C_{CO_{2s}}$	pH_s	P_{O_2} corr	T°
1	213.34	49.55	13.96	39.93	100.00				
	28.34	46.89	9.87	43.74	75.42	49.07	7.1220	20.83	15°
	9.04	41.71	2.32	43.02	17.61	47.67	7.1348	6.74	
2	218.90	50.85	14.66	69.55	100.00				
	24.01	48.61	12.55	65.35	92.12	73.10	7.2128	19.52	6°
	22.82	55.01	12.06	70.91	86.02	79.35	7.2814	20.02	
	9.28	42.90	8.46	62.85	62.45	70.10	7.2534	7.89	
3	267.83	49.32	10.81	41.05	100.00	von Igel III aus Tabel			
	5.62	57.35	6.30	69.28	56.00	74.68	7.2249	6.35	5°

TABELLE Nr. 6 (Fortsetzung)

Nr.:	P_{O_2}	P_{CO_2}	C_{O_2}	C_{CO_2}	S_{O2}	$C_{CO_{2s}}$	pH_s	P_{O_2} corr	T°C
5	250.00	44.69	15.09	69.65	100.00				
	7.84	45.05	7.36	74.35	50.60	82.60	7.2239	6.45	4.5°C
	7.01	48.55	4.08	76.02	28.91	83.93	7.1941	5.59	
6	251.02	44.04	19.78	75.65	100.00				
	7.86	45.20	8.75	79.30	48.05	91.10	7.2680	6.79	4.5°C
	7.03	48.80	5.46	83.70	30.05	95.60	7.2828	6.18	

TABELLE Nr. 7

Mittelwerts-O_2-Dissoziationskurve des winterschlafenden Igels bei 39,37,15,5 und 1°C jeweils bei pH 7.4

S_{O_2} %	P_{O_2} Torr				
	39°C	37°C	15°C	5°C	1°C
5	10.7	9.9	4.3	2.8	2.5
10	16.3	15.1	6.5	4.4	3.8
15	19.3	17.9	7.7	5.2	4.5
20	20.8	19.3	8.3	5.6	4.8
25	21.7	20.1	8.6	5.9	5.0
30	22.3	20.6	8.9	6.0	5.2
35	22.9	21.2	9.1	6.2	5.3
40	23.5	21.7	9.3	6.4	5.5
45	24.0	22.2	9.5	6.5	5.6
50	24.5	22.7	9.7	6.6	5.7
55	25.4	23.5	10.1	6.9	5.9
60	26.7	24.7	10.6	7.2	6.2
65	29.5	27.3	11.7	8.0	6.8
70	34.5	31.9	13.7	9.3	8.0
75	42.5	39.3	17.3	11.5	9.9
80	53.5	49.5	21.3	14.5	12.4
85	67.5	62.3	27.4	18.2	15.7

TABELLE Nr. 8

Mittelwerte(X), mittlere Fehler der Mittelwerte(sX) und Anzahl der Messwerte(n) der Sauerstoffkapazitäten, O_2-Halbsättigungsdrucke(P_{50}), Bohreffekte, CO_2-Gehalte des Blutes bei 40 Torr CO_2-druck(T_{40}) und der Temperaturfaktoren von 6 winterschlafenden Igeln.

	X	sX	n
O_2-Kapazität ml O_2 / 100 ml Blut	14.36	1.12	6
P_{50} (Torr) bei 37°C und pH 7.4	22.71	0.46	16
Bohr - Faktor $\Delta \log P_{O_2} / \Delta$ pH	- 0.45	0.04	8
T_{40} ml CO_2 / 100 ml Blut	35.82	1.43	6
Temperaturfaktor $\Delta \log P_{O_2} / \Delta °C$	0.0167	0.0005	8

TABELLE Nr. 9

Mittelwerte(X) und mittlere Fehler der Mittelwerte(sX) gemessener und berechneter Zellwerte von je 6 Igeln im Winterschlaf

Es bedeuten:

Hb g / 100 ml : aus O_2-Kapazität berechneter Hb-Gehalt in g%
(1 g Hb bindet 1.34 ml O_2)

RBC mill / mm^3 : Erythrozytenzahl in Millionen / mm^3

Hct % : Hämatokrit in Prozent

MCV μ^3 : mittlere Erythrozyten-Einzelvolumen in μ^3

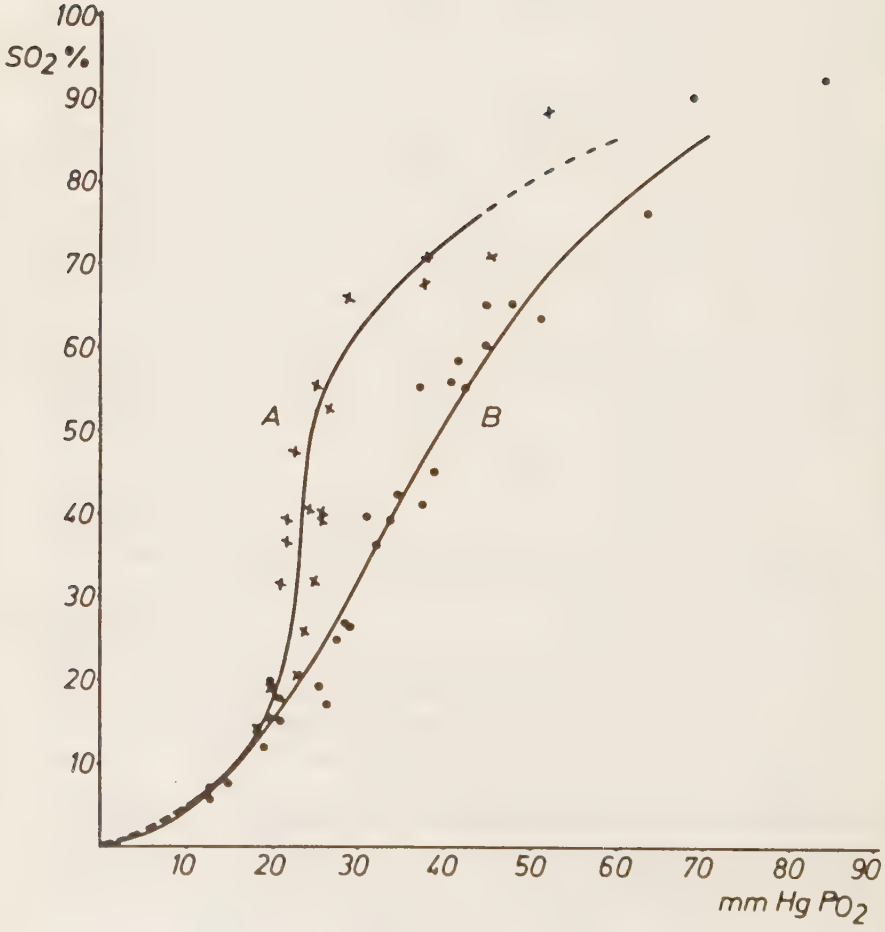
MCHC % : mittlere Hb-Konzentration im Erythrozyten in Pro

MCH $\mu\mu g$: mittlerer Hb-Gehalt im Erythrozyten in $\mu\mu g$

	Hb g / 100 ml	RBC mill/mm^3	Hct %	MCV μ^3	MCHC %	MCH $\mu\mu g$
X	10.8	7.70	33.16	43.1	32.15	14.00
sX	0.83	0.67	1.80	2.56	1.04	0.69

Legende zu Abbildung 1

O_2-Dissoziationskurven des Blutes winterschlafender (A) und nicht winterschlafender (B) Igel bei 39°C, bezogen auf pH_b 7.4 .


100
SO_2 %
90
80
70
60
50
40
30
20
10
A
B
10
20
30
40
50
60
70
80
90
mm Hg PO_2

Literatur-Verzeichnis

ALTMAN, P.L., and D.S. DITTMER (1964): Biology data book, Washington Fed. Amer. Soc. Exp. Biol.

BARTELS, H., und H. HARMS (1959): Sauerstoffdissoziationskurven des Blutes von Säugetieren. Pflügers Arch. ges. Physiol. 268:334-365.

BIÖRCK, G., B. JOHANNSON and S. VEIGE (1956): Some laboratory data on hedgehogs, hibernating and non hibernating. Acta Physiol. Scand. 37:281-294.

CLAUSEN, G., and A. ERSLAND (1968): The respiratory properties of the blood of the hibernating hedgehog. Respiration Physiol. 5:221-233.

DILL, D.B., and W.H. FORBES (1941): Respiratory and metabolic effects of hypothermia. Amer. J. Physiol. 132:685-697.

DILL, D.B., A. GRAYBIEL, A HURTADO und A.C. TAQUINI (194o): Der Gasaustausch in den Lungen im Alter. Z. Altersforsch. 2:2o-33.

GAHLENBECK, H., und H. BARTELS (1968): Temperaturadaptation der Sauerstoffaffinität des Blutes von Rana esculenta L. Z. vergl. Physiol. 59:232-24o.

HENDERSON, L.J. (1932): Blut. Dresden, Steinkopff. S. 24o.

HERTER, K. (1938): Die Biologie der europäischen Igel, Schöps, Leipzig.

KRÜGER, G. (1961): Der Einfluß der Temperatur auf die Sauerstoffbindung des Froschblutes. Zoologischer Anzeiger 24:8o-83.

LAUE, D. (1951): Ein neues Tonometer zur raschen Äquilibrierung von Blut mit verschiedenen Gasdrucken. Pflügers Arch. ges. Physiol. 254: 142-143.

LYMAN, C.P. (1958): Oxygen consumption, body temperature and heart rate of wood chucks entering hibernation. Am. J. Physiol. 94:83-91.

RAHN, H. (1967): Gas transport from the external environment to the cell. In: De Reuck, A.V.S. and R. Porter, Development of the lung. London, Churchill.

SARAJAS, H.S.S. (1954): Observations on the electrocardiographic alterations in the hibernating hedgehog. Acta Physiol. Scand. 32:28-38.

SCHENK, P. (1922): Über den Winterschlaf und seine Beeinflussung durch die Extrakte innersekretorischer Drüsen. Pflügers Arch. ges. Physiol. 197:66-8o.

SCHMELZLE, R. (1966): Über die Atmungsfunktion des Blutes bei Igeln und Maulwürfen. Dissertation, Tübingen.

SEVERINGHAUS, J.W., M. STUPFEL and A.F. BRADLEY (1956): Variations of serum carbonic acid pK' with pH and temperature. J. App. Physiol. 9:197-2oo.

ULRICH, S., P. HILPERT und H. BARTELS (1963): Über die Atmungsfunktion des Blutes von Spitzmäusen, weißen Mäusen und syrischen Goldhamstern. Pflügers Arch. ges. Physiol. 277:15o-165.

VAN SLYKE, D.D., and J. PLAZIN (1961): Micromanometric Analyses. Baltimore. Williams & Wilkins.

Herrn Prof. Dr. med. H. Bartels danke ich für die Überlassung des Themas und die Unterstützung bei der Durchführung meiner Arbeit wie auch für die Arbeitsmöglichkeit in seinem Institut.

Herrn Prof. Dr. med. K. Brecht danke ich für die Arbeitsmöglichkeit im Physiologischen Institut.

Frau C. Schmelzle, Fräulein K. Böhling und Herrn Dr. med. W. Reinhardt danke ich für technische Hilfe.

Lebenslauf

Am 17. Juli 1942 wurde ich, Rainer Schmelzle, als Sohn des Dr. med. dent. Richard Schmelzle und seiner Ehefrau Lili, geb. Laggai, in Ludwigsburg geboren.

Nach dreieinhalb Jahren Grundschulausbildung in Bissingen/Enz besuchte ich das Aurein-Gymnasium in Bietigheim/Enz, wo ich im Frühjahr 1961 die Reifeprüfung ablegte.

Im Sommersemester 1961 begann ich in Tübingen das Studium der Medizin und Zahnmedizin. Im Frühjahr 1962 bestand ich das Vorphysikum und im Frühjahr 1964 die ärztliche und zahnärztliche Vorprüfung.

Am 23. Dezember 1966 bestand ich in Tübingen das zahnmedizinische Staatsexamen.

Am 16. Januar 1967 erhielt ich die Bestallung als Zahnarzt.

Am 1. Februar 1967 erhielt ich den Grad eines Doktors der Zahnheilkunde.

Am 5. August 1968 bestand ich das medizinische Staatsexamen.

Druckbüro Frau Elly HUTH, 74 Tübingen